

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関
国際事務局(43)国際公開日
2005年9月22日 (22.09.2005)

PCT

(10)国際公開番号
WO 2005/088791 A1

(51)国際特許分類7:

H01S 5/227, 5/343

Atsushi) [JP/JP]. 下瀬 佳治 (SHIMOSE, Yoshiharu) [JP/JP]. 菊川 知之 (KIKUGAWA, Tomoyuki) [JP/JP].

(21)国際出願番号:

PCT/JP2005/004556

(74)代理人: 鈴江 武彦, 外(SUZUYE, Takehiko et al.); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目7番2号 鈴榮特許総合事務所内 Tokyo (JP).

(22)国際出願日: 2005年3月15日 (15.03.2005)

日本語

(81)指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25)国際出願の言語:

日本語

(26)国際公開の言語:

日本語

(30)優先権データ:
特願2004-074636 2004年3月16日 (16.03.2004) JP

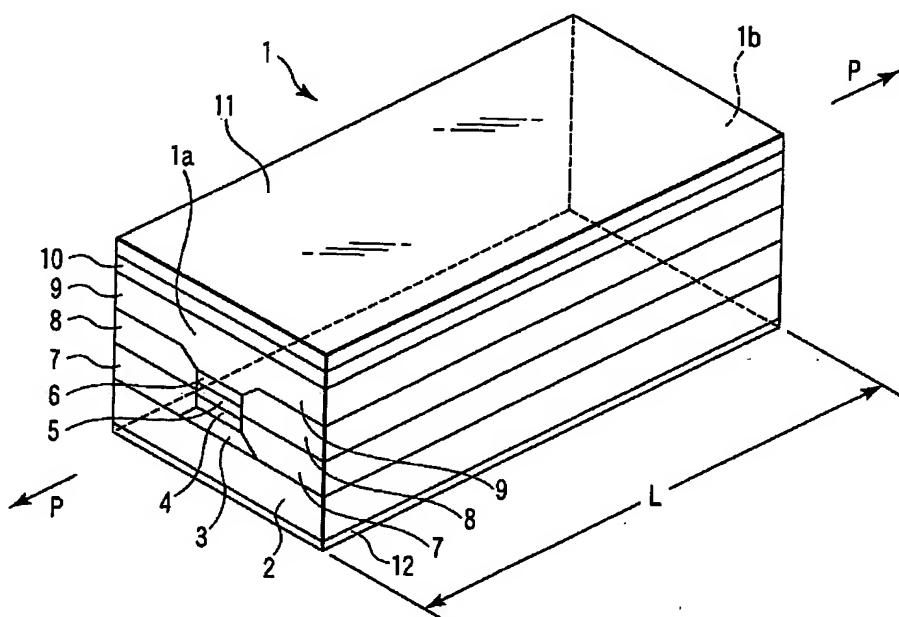
(71)出願人(米国を除く全ての指定国について): アンリツ株式会社 (ANRITSU CORPORATION) [JP/JP]; 〒2438555 神奈川県厚木市恩名1800番地 Kanagawa (JP).

(84)指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,

/統葉有)

(54)Title: SEMICONDUCTOR LASER COUPLABLE TO SINGLE MODE OPTICAL FIBER AT HIGH COUPLING EFFICIENCY

(54)発明の名称: 単一モード光ファイバと高い結合効率で結合可能とする半導体レーザ

(57)Abstract: A semiconductor laser is provided with a board made of InP, an activation layer formed on the board with a width of 7-14 μ m, including a multiquantum well structure, an n-type clad layer made of InGaAsP and a p-type clad layer made of InP formed on the board, having the activation layer between. The semiconductor laser oscillates only in basic transverse mode, and beams projected from a projection edge part can be optically coupled with an external single mode optical fiber.

/統葉有)



BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:
一 國際調査報告書

(57) 要約: 半導体レーザは、InPからなる基板と、前記基板上に幅が7～14μmとして形成される、多重量子井戸構造を含む活性層と、前記活性層を挟んで前記基板上に形成される、InGaAsPからなるn型クラッド層及びInPからなるp型クラッド層とを有する。前記半導体レーザは、基本横モードのみで発振して出射端部から出射される光が外部の単一モード光ファイバと光結合可能とする。

明細書

単一モード光ファイバと高い結合効率で結合可能とする半導体レーザ
技術分野

[0001] 本発明は半導体レーザに係り、特に、単一モード光ファイバと高い結合効率で結合可能とする半導体レーザに関するものである。

背景技術

[0002] 光通信システムに用いられる光信号は、長距離にわたって敷設された光ファイバ内を伝送される。このため、光の光源として用いられる半導体レーザの特性としては、高出力、高安定度が要求される。

[0003] ところで、光信号の伝送に単一モード光ファイバを使用する場合、光源としての半導体レーザと単一モード光ファイバとの間を光結合することになる。

[0004] しかし、半導体レーザの素子端面と光ファイバの光入射面とをバットジョイントにより直接突き合わせて結合すると、半導体レーザの光波スポットサイズが2—3 μ mに対して単一モード光ファイバのスポットサイズが10 μ m程度であり、互いの光導波路光波スポットサイズが異なるために結合損失が生じる。

[0005] このため、半導体レーザからのレーザ光をレンズによって光ファイバのスポットサイズに変換して結合損失の低減を図ることが一般的に行われている。

[0006] しかしながら、光結合にレンズを用いる構成では、半導体レーザと光ファイバとの間の面倒な光軸調整が必要不可欠であり、光学部品も増すという問題がある。

[0007] そこで、上記問題を解消するため、下記特許文献1に開示されているようなレンズレスで単一モード光ファイバと光結合可能な半導体光デバイスの提案がなされている。

[0008] 図17は、下記特許文献1に開示される半導体光デバイスの概略的な構成を示す透視による斜視図である。

[0009] 図17に示すように、特許文献1に開示される半導体光デバイス51は、クラッド、キャップ、電極等の素子化に必要な構成部分52において、MQW(Multi Quantum Well:多重量子井戸構造)活性層53がバットジョイント部54を介してテーパ光導波路55と接合している。

[0010] MQW活性層53は、歪み超格子活性層であり、活性領域56を構成している。光導波路55は、層厚とバンドギャップ波長を連続的に変化させた光導波路であり、スポットサイズ変換領域57を構成している。

[0011] そして、上記半導体光デバイス51を用いて単一モード光ファイバと光結合する場合には、MQW活性層53の活性領域56から出射されたレーザ光がバットジョイント部54でテーパ光導波路55のスポットサイズ変換領域57に伝播され、このスポットサイズ変換領域57でスポットサイズが変換されて光出射端55aから出射される。

[0012] そして、このスポットサイズの変換されたレーザ光は、光出射端55aから単一モード光ファイバの光入射面から入射され、半導体光デバイス51と単一モード光ファイバが光結合される。

特許文献1:特開平9-61652号公報 しかしながら、前記特許文献1に開示されるテーパ光導波路55を有する従来の半導体光デバイス51では、光出射端55aから出射されるレーザ光のスポットサイズが単一モード光ファイバのスポットサイズに合うように半導体光デバイス51にテーパ光導波路55を一体に形成する必要があるので、設計が難しく、作成に手間を要し、作成再現性も得にくいという問題がある。

[0013] ところで、半導体レーザの活性層の幅を広げれば、半導体レーザから出射されるレーザ光のスポット径を単一モードの光ファイバのコア径に合わせることが可能である。

[0014] しかし、単純に半導体レーザの活性層の幅を広げただけでは、半導体レーザから出射されるレーザ光に横高次モードが発生し、電流-光出力特性において、不連続点が生じたり、単一モード光ファイバと光結合を行う際に結合損失が大きくなってしまうという新たな問題が生じる。

[0015] なお、本願の発明者等は、先に、米国特許出願番号(10/692, 125)及び欧州特許出願番号(03 025 058. 3)において、n型クラッド層が、InPからなるp型クラッド層より屈折率が大きいInGaAsPによって構成されていることにより、簡単な構成でハイパワーな光出力が得られると共に、横高次モードを抑圧可能な最大の活性層幅を拡大可能な半導体レーザに適用可能な半導体発光素子を開示している。

[0016] しかるに、これらの先願で開示されているのは、本願の発明で対象とする光源としての半導体レーザからの光信号の伝送のために半導体レーザと単一モード光ファイバ

との間をレンズレスで光結合するようなことを想定していないので、拡大可能な活性層の幅は、3. 5 μ m以上であって最大でも4. 0 μ mまでしか開示されていない。

[0017] したがって、これらの先願で開示されている半導体発光素子を、仮に、光通信システムで用いられているような光源としての半導体レーザに適用したとしても、拡大可能な活性層の幅が3. 5 μ m乃至4. 0 μ mに止どまっているために、当該半導体レーザと単一モード光ファイバとの間をレンズレスで光結合することは前述したような結合損失の点から非現実的である。

発明の開示

[0018] そこで、本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、単一モード光ファイバと光結合する際、従来技術のようなレンズやその他のスポットサイズ変換部を必要とせず、基本横モードを保ったまま高出力のレーザ光を低成本で単一モード光ファイバに高い結合効率で結合可能とする半導体レーザを提供することを目的としている。

[0019] 前記目的を達成するために、本発明の第1の態様によると、
InPからなる基板(2)と、
前記基板(2)上に幅が7—14 μ mとして形成される、多重量子井戸構造を含む活性層(5)と、
前記活性層を挟んで前記基板(2)上に形成される、InGaAsPからなるn型クラッド層(3)及びInPからなるp型クラッド層(9)とを具備し、

基本横モードのみで発振して出射端部から出射される光が外部の単一モード光ファイバ(31)と光結合可能とすることを特徴とする半導体レーザが提供される。

[0020] 前記目的を達成するために、本発明の第2の態様によると、
前記出射端部から出射される光が、前記外部の単一モード光ファイバとレンズレスで光結合可能とされることを特徴とする第1の態様に従う半導体レーザが提供される。

[0021] 前記目的を達成するために、本発明の第3の態様によると、
前記出射端部から出射される光が、前記外部の単一モード光ファイバとバットジョイントにより光結合可能とされることを特徴とする第1の態様に従う半導体レーザが提供される。

[0022] 前記目的を達成するために、本発明の第4の態様によると、
 前記活性層と前記n型クラッド層との間に形成されるInGaAsPからなる第1のSCH
 (Separate Confinement Heterostructure:光閉込構造)層(4)と、
 前記活性層と前記p型クラッド層との間に形成されるInGaAsPからなる第2のSCH
 層(6)とをさらに具備することを特徴とする第1の態様に従う半導体レーザが提供され
 る。

[0023] 前記目的を達成するために、本発明の第5の態様によると、
 前記第1のSCH層は複数の層(4a, 4b, 4c, …4N)からなる多層構造を含み、
 前記第2のSCH層は、複数の層(6a, 6b, 6c, …6N)からなる多層構造を含むこと
 を特徴とする第4の態様に従う半導体レーザが提供される。

[0024] 前記目的を達成するために、本発明の第6の態様によると、
 前記活性層における前記複数の障壁層の屈折率をnsとし、
 前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い
 方から順次にそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとし、
 前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い
 方から順次にそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとしたとき、前
 記各層の厚さの関係は互いに等しい、

$$t1=t2=t3=, \dots, =tN$$
 なる関係に設定され、
 前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率naが前記p型クラッド層の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$ns > n1 > n2 > n3 > \dots > nN > na > nb$$
 なる関係に設定されていると共に、
 前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が、前記活性層から前記n型クラッド層及び前記p型クラッド層へ向かう程小さくなるように

$$ns - n1 > n1 - n2 > n2 - n3 > \dots > nN - nb > nN - na$$

なる関係に設定されていることを特徴とする第5の態様に従う半導体レーザが提供される。前記目的を達成するために、本発明の第7の態様によると、

前記活性層における前記複数の障壁層の屈折率をnsとし、

前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn₁, n₂, n₃, …, n_N及びt₁, t₂, t₃, …, t_Nとし、

前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn₁, n₂, n₃, …, n_N及びt₁, t₂, t₃, …, t_Nとしたとき、前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率naが前記p型クラッド層の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$ns > n_1 > n_2 > n_3 > \dots > n_N > na > nb$$

なる関係に設定され、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が互いに等しい

$$ns - n_1 = n_1 - n_2 = n_2 - n_3 = \dots = n_N - nb$$

(但し、n_N-nb > n_N-na)

なる関係に設定されていると共に、

前記各層の厚さの関係は、前記活性層から遠いものほど大きくなるように

$$t_1 < t_2 < t_3 < \dots < t_N$$

なる関係に設定されていることを特徴とする第5の態様に従う半導体レーザが提供される。前記目的を達成するために、本発明の第8の態様によると、

前記活性層における前記複数の障壁層の屈折率をnsとし、

前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn₁, n₂, n₃, …, n_N及びt₁, t₂, t₃, …, t_Nとし、

前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn₁, n₂, n₃, …, n_N及びt₁, t₂, t₃, …, t_Nとしたとき、前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率naが前記p型クラッド層の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活性

層から遠ざかる程小さくなるように

$ns > n1 > n2 > n3 > \dots, nN > na > nb$

なる関係に設定され、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$ns - n1 > n1 - n2 > n2 - n3 > \dots, > nN - nb > nN - na$

なる関係に設定されていると共に、

前記各層の厚さの関係は、前記活性層から遠いものほど大きくなるように

$t1 < t2 < t3 < \dots, < tN$

なる関係に設定されていることを特徴とする第5の態様に従う半導体レーザが提供される。前記目的を達成するために、本発明の第9の態様によると、

前記活性層を形成する複数の層うちで最も低い屈折率を有する層の屈折率を ns とし、前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれ $n1, n2, n3, \dots, nN$ 及び $t1, t2, t3, \dots, tN$ とし、

前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれ $n1, n2, n3, \dots, nN$ 及び $t1, t2, t3, \dots, tN$ としたとき、前記各層の厚さの関係は互いに等しい、

$t1 = t2 = t3 = \dots = tN$

なる関係に設定され、

前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率 ns が最も高く、前記n型クラッド層の屈折率 na が前記p型クラッド層の屈折率 nb より高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$ns > n1 > n2 > n3 > \dots, > nN > nb$

且つ

$na > nN$

なる関係に設定されていると共に、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における

る互いに隣接する層相互間の屈折率差が、前記活性層から前記n型クラッド層及び前記p型クラッド層へ向かう程小さくなるように

$$ns - n1 > n1 - n2 > n2 - n3 > \dots > n(N-1) - nN$$

なる関係に設定されていることを特徴とする第5の態様に従う半導体レーザが提供される。前記目的を達成するために、本発明の第10の態様によると、

前記活性層を形成する複数の層うちで最も低い屈折率を有する層の屈折率をnsとし、前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとし、

前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとしたとき、前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率naが前記p型クラッド層の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$ns > n1 > n2 > n3 > \dots > nN > nb$$

且つ

$$na > nN$$

なる関係に設定され、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が互いに等しい

$$ns - n1 = n1 - n2 = n2 - n3 = \dots = nN - nb$$

なる関係に設定されていると共に、

前記各層の厚さの関係は、前記活性層から遠いものほど大きくなるように

$$t1 < t2 < t3 < \dots < tN$$

なる関係に設定されていることを特徴とする第5の態様に従う半導体レーザが提供される。前記目的を達成するために、本発明の第11の態様によると、

前記活性層を形成する複数の層うちで最も低い屈折率を有する層の屈折率をnsとし、前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとし、

前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1、n2、n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとしたとき、前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率naが前記p型クラッド層の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$ns > n1 > n2 > n3 > \dots, nN > nb$$

且つ

$$na > nN$$

なる関係に設定され、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$ns - n1 > n1 - n2 > n2 - n3 > \dots, > n(N-1) - nN$$

なる関係に設定されていると共に、

前記各層の厚さの関係は、前記活性層から遠いものほど大きくなるように

$$t1 < t2 < t3 < \dots, < tN$$

なる関係に設定されていることを特徴とする第5の態様に従う半導体レーザが提供される。前記目的を達成するために、本発明の第12の態様によると、

前記半導体レーザは埋込み構造として形成されていることを特徴とする第4の態様に従う半導体レーザが提供される。

[0025] 前記目的を達成するために、本発明の第13の態様によると、

前記n型クラッド層、前記第1のSCH層、前記活性層、前記第2のSCH層及び前記p型クラッド層の一部はメサ型に形成され、

前記半導体レーザは、

前記メサ型に形成された各層の両側で前記半導体基板または前記n型クラッド層に一面が接して形成されたp型InPからなる第1の埋込層(16)と

前記メサ型に形成された各層の両側で一面が前記p型クラッド層に接し且つ他面が前記第1の埋込層(16)の他面に接して形成されたn型InPからなる第2の埋込層(1

7)とをさらに具備することを特徴とする第12の態様に従う半導体レーザが提供される。
。

[0026] 前記目的を達成するために、本発明の第14の態様によると、
前記半導体レーザはリッジ構造として形成されている第1の態様に従う半導体レーザが提供される。

[0027] 前記目的を達成するために、本発明の第15の態様によると、
前記半導体基板がn型であるとき、前記p型クラッド層は外側のほぼ中央部が上側に盛り上げられたリッジ構造部分として形成され、
前記半導体レーザは、
前記p型クラッド層における前記リッジ構造部分の上側に形成されたコンタクト層(19)と、
前記コンタクト層の中央部を開口して、前記リッジ構造部分を含む前記p型クラッド層を覆うように形成された絶縁層(24)と、
一部が前記コンタクト層と接続された状態で前記絶縁層の上部に形成された電極(20)とをさらに具備することを特徴とする第14の態様に従う半導体レーザが提供される。

[0028] 前記目的を達成するために、本発明の第16の態様によると、
前記n型クラッド層を構成するInGaAsPの組成波長が、InPの組成波長以上で且つ0.98 μ m以下であることを特徴とする第1の態様に従う半導体レーザが提供される。

[0029] 前記目的を達成するために、本発明の第17の態様によると、
前記n型クラッド層を構成するInGaAsPの組成波長が、0.96 μ m以上で且つ0.98 μ m以下であることを特徴とする第16の態様に従う半導体レーザが提供される。
前記目的を達成するために、本発明の第18の態様によると、
前記半導体基板がn型であるとき、前記n型クラッド層が前記活性層の下方に形成され、前記p型クラッド層が前記活性層の上方に形成されることを特徴とする第1の態様に従う半導体レーザが提供される。

[0030] 上記目的を達成するために、本発明の第19の態様によれば、前記半導体基板がp

型であるとき、前記n型クラッド層が前記活性層の上方に形成され、前記p型クラッド層が前記活性層の下方に形成されることを特徴とする第1の態様に従う半導体レーザが提供される。

[0031] 以上のような本発明の半導体レーザによれば、n型クラッド層(3)をIn, Ga, As, Pの4元素材料で形成し、n型クラッド層(3)の組成波長を0.96—0.98 μ m、且つ活性層(5)の幅を7—14 μ mにしているので、発振基本横モードを維持しながら、高出力のレーザ光を外部の单一モード光ファイバに高い結合効率で結合可能とすることができる。

[0032] しかも、本発明の半導体レーザによれば、従来技術のようなレンズやテーパ光導波路やその他のスポットサイズ変換部が不要となり、製造性簡便化、及び素子長を短くして素子のコストを低減することができる。

図面の簡単な説明

[0033] [図1]図1は、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの概略構成を示す斜視図である。

[図2]図2は、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの要部の断面図である。

[図3]図3は、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの各層の屈折率特性を示す図である。

[図4]図4は、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの光スポットの偏平率をパラメータとした、出射光の水平方向スポット径と单一モード光ファイバへの光結合効率の関係図である。

[図5]図5は、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの水平スポット径とレーザ出射光の遠視野像の広がり角度との関係図である。

[図6]図6は、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの活性層幅とレーザ出射光の遠視野像の広がり角度との関係図である。

[図7]図7は、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの同一活性層構造における、n側クラッド層に用いるInGaAsPの組成波長に対する、横高次モードを抑圧できる最大の活性層幅(=カットオフ幅)の関係図の一例である。

[図8]図8は、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの光の分布特性を示す図

である。

[図9]図9は、本発明の他の実施形態に係る半導体レーザの各層の屈折率特性を示す図である。

[図10]図10は、本発明の他の実施形態に係る半導体レーザの各層の屈折率特性を示す図である。

[図11]図11は、図10に示す本発明の他の実施形態に係る半導体レーザの供給電流対出力特性を示す図である。

[図12]図12は、本発明の他の実施形態に係るリッジ構造の半導体レーザについて説明するための図である。

[図13]図13は、本発明の他の実施形態に係る半導体レーザとしてp型基板上に構成した例を示す図である。

[図14]図14は、本発明の他の実施形態に係る半導体レーザの各層の屈折率特性を示す図である。

[図15]図15は、本発明による半導体レーザと外部の単一モード光ファイバの光結合の一例及び他の例を説明するための図である。

[図16]図16は、本発明の他の実施形態に係る半導体レーザの各層の屈折率特性を示す図である。

[図17]図17は、特許文献1に開示される従来の半導体光デバイスの斜視図である。

発明を実施するための最良の形態

- [0034] 以下、図面を参照して本発明の実施形態に係る半導体レーザについて説明する。
- [0035] 図1は、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの全体の構成を示す斜視図、図2は、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの一部拡大断面図である。
- [0036] 図1に示すように、本発明の第1実施形態に係る半導体レーザ1は、n型InPからなる半導体基板2の上に、n型InGaAsPからなるn型クラッド層3、InGaAsPからなる第1のSCH(Separate Confinement Heterostructure:光閉込構造)層4、InGaAsPからなる活性層5、InGaAsPからなる第2のSCH層6が順番に積層されている。
- [0037] 図1において、n型クラッド層3、第1のSCH層4、活性層5、第2のSCH層6はメサ型に形成されており、このメサ型の両側にp型InPからなる下部埋込層7及びn型InP

からなる上部埋込層8が形成されている。

- [0038] また、第2のSCH層6の上側及び上部埋込層8の上面には、p型InPからなるp型クラッド層9が形成されている。p型クラッド層9の上面には、p型コンタクト層10が形成されている。さらに、p型コンタクト層10の上面には、p電極11が設けられている。また、半導体基板2の下面にはn電極12が設けられている。
- [0039] 本発明の第1実施形態に係る半導体レーザにおいて、活性層5としては、図2に示すように、4層の井戸層5aと、この各井戸層5aの両側に位置する5層の障壁層5bとを積層した4層のMQW(多重量子井戸)構造が採用されている。
- [0040] この4層のMQW構造を有した活性層5の下側に位置する第1のSCH層4を複数の層4a, 4b, 4c, …, 4Nからなる多層構造とし、同様に、活性層5の上側に位置する第2のSCH層6を複数の層6a, 6b, 6c, …, 6Nからなる多層構造とする。
- [0041] 図2に示すように、活性層5における障壁層5bの屈折率をns、n型クラッド層3の屈折率をna、p型クラッド層9の屈折率をnbとする。
- [0042] また、第1のSCH層4を構成する各層4a, 4b, 4c, …, 4Nの屈折率及び厚さをそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとし、同様に、第2のSCH層6を構成する各層6a, 6b, 6c, …, 6Nの屈折率及び厚さをn1, n2, n3, …, nN, 及びt1, t2, t3, …, tNとする。
- [0043] そして、各屈折率の大小関係は、下記の不等式で示すように、活性層5から遠ざかる程小さくなるように設定され、且つ、InGaAsPからなるn型クラッド層3の屈折率naは、InPからなるp型クラッド層9の屈折率nbより高い、下記の不等式で示すように設定されている。
$$ns > n1 > n2 > n3 > \dots > nN > na > nb$$
- [0044] さらに、この半導体レーザ1においては、図3に示すように、第1のSCH層4及び第2のSCH層6を構成する隣接する層相互間の屈折率差が、活性層5からクラッド層3, 9へ向う程小さくなるように設定されている。
- [0045] すなわち、第1のSCH層4及び第2のSCH層6を構成する隣接する層相互間の屈折率差は、下記の不等式で示すように設定されている。
$$ns - n1 > n1 - n2 > n2 - n3 > \dots > nN - nb > nN - na$$
- [0046]
$$ns - n1 > n1 - n2 > n2 - n3 > \dots > nN - nb > nN - na$$

また、第1のSCH層4及び第2のSCH層6構成する各層の厚み $t_1, t_2, t_3, \dots, t_N$ は等しく設定されている。

[0047] すなわち、各層の厚さは

$$t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_N$$

となるように設定されている。

[0048] このように構成された半導体レーザ1では、p電極11とn電極12との間に直流電圧を印加すると、活性層5で光Pが生起され、その光Pが図1に示した半導体レーザ1の端面1a, 1bから外部へ出射される。

[0049] ここで、半導体レーザ1において、横高次モードの発生を抑制しつつ、単一モード光ファイバと十分な結合効率を得ることができる活性層5の幅について説明する。

[0050] すなわち、半導体レーザ1では、前述したように、活性層5で生起された光Pが半導体レーザ1の端面1a, 1bから外部へ出射される際、出射される光は所定の大きさのスポット径で外部へ出射される。

[0051] このスポット径とは、本発明による半導体レーザ1においては、活性層5の端部から出射される光の、その端部での光強度分布において、最大光強度の $1/e^2$ (eは自然対数の底)となる部分の直径を表している。

[0052] 図4は、本発明による半導体レーザ1における光スポットの偏平率をパラメータとした、出射光の水平方向スポット径と単一モード光ファイバへの光結合効率の関係図を示している。

[0053] ここで、光スポットの偏平率は、スポット径の水平方向:垂直方向の割合比であり、それぞれ1:1. 35, 1:1. 2, 1:1, 1:0. 8, 1:0. 65の割合比を示している。

[0054] 尚、半導体レーザ1は基本横モードで発振しており、半導体レーザ1の端面1a, 1bから出射される光は、後述するように、半導体レーザ1の端面1a, 1bのいずれか一方に近接して配置される単一モード光ファイバと、例えば、レンズレスで光結合される。

[0055] 図4からも分かるように、本発明による半導体レーザ1では、いずれの光スポットの偏平率においても約75%以上の高い光結合効率を得るために、水平スポット径が7~14 μ mであれば良いことが分かる。

[0056] 図5は、本発明による半導体レーザ1における水平スポット径とレーザ出射光の遠

視野像の広がり角度との関係図を示している。

- [0057] 図6は、本発明による半導体レーザ1における半導体レーザ1の活性層5の幅とレーザ出射光の遠視野像の広がり角度との関係図を示している。
- [0058] 図5と図6とを比較して分かるように、本発明による半導体レーザ1では、同一広がり角度が得られる際の、活性層5の幅と水平方向スポット径がほぼ同等となっている。
- [0059] 従って、本実施形態の半導体レーザ1においては、活性層5の幅＝スポット径と見なすことができる。
- [0060] これにより、本実施形態の半導体レーザ1において、単一モード光ファイバとの光結合において、約75%以上の高い光結合効率を得るために活性層5の幅が7ー14 μ mであれば良いこととなる。
- [0061] ところで、この種の半導体レーザ1では、単純に活性層幅を拡大させただけでは、レーザの発振モードに横高次モードが存在することになり、レーザ特性が悪化するばかりでなく、ファイバへの光結合効率が低下してしまうことになる。
- [0062] そこで、本実施形態の半導体レーザ1では、前述したように、n側クラッド層をInGaAsPで構成することにより、半導体レーザ1の内部で光を導く光導波路の等価屈折率を低減するのと同等の効果を得ることができるので、結果として、横高次モードの発生を抑えつつ広い活性層幅の半導体レーザを実現することができる。
- [0063] なお、上述したように、本願の発明者等は、先に、米国特許出願番号(10/692, 125)及び欧州特許出願番号(03 025 058. 3)において、n型クラッド層が、InPからなるp型クラッド層より屈折率が大きいInGaAsPによって構成されていることにより、簡単な構成でハイパワーな光出力が得られると共に、横高次モードを抑圧可能な最大の活性層幅を拡大可能な半導体レーザに適用可能な半導体発光素子を開示している。
- [0064] しかしに、これらの先願で開示されているのは、本願の発明で対象とする光源としての半導体レーザからの光信号の伝送のために半導体レーザと単一モード光ファイバとの間をレンズレスで光結合するようなことを想定していないので、拡大可能な活性層の幅は、3.5 μ m以上であって最大でも4.0 μ mまでしか開示されていない。
- [0065] したがって、これらの先願で開示されている半導体発光素子を、仮に、光通信シス

テムで用いられているような光源としての半導体レーザに適用したとしても、拡大可能な活性層の幅が3.5 μ m乃至4.0 μ mに止どまっているために、当該半導体レーザと単一モード光ファイバとの間をレンズレスで光結合することは前述したような結合損失の点から非現実的である。

[0066] しかも、これらの先願では、本発明の半導体レーザ1において、単一モード光ファイバとの光結合において、約75%以上の高い光結合効率を得るために、活性層5の幅が7ー14 μ mであれば良いことについての分析及び究明を含む開示がなされていない。

[0067] 図7は、本発明による半導体レーザ1において、同一活性層構造における、n側クラッド層に用いるInGaAsPの組成波長に対する、横高次モードを抑圧できる最大の活性層幅(=カットオフ幅)の関係の一例を示している。

[0068] これによれば、n側クラッド層に組成波長が0.925 μ mの通常のInPクラッド層を用いた半導体レーザの場合と同様にn側クラッド層に組成波長が0.925 μ mのInGaAsP半導体レーザでは、カットオフ幅は約3.5 μ mである。

[0069] それに対し、n側クラッド層に用いるInGaAsPの組成波長を0.96 μ mとするとカットオフ幅は約7 μ mとなり、さらに組成波長を0.98 μ mとすれば、カットオフ幅は約14 μ mまで拡大することができる。

[0070] 次に、図3に基いて本実施形態の半導体レーザ1の各層の屈折率について説明する。

[0071] 前述した図3の屈折率特性に示すように、本実施形態の半導体レーザ1では、第1及び第2のSCH層4, 6を構成する各層4a, 4b, 4c, 6a, 6b, 6cにおける隣接する層相互間の屈折率差が、活性層5から各クラッド層3, 9へ向う程小さくなるように設定されている。

[0072] これにより、本実施形態の半導体レーザ1では、第1及び第2のSCH層4, 6内における活性層5の近傍領域の屈折率の高い領域においては屈折率が急激に低下し、両クラッド層3, 9の近傍領域の屈折率の低い領域においては、屈折率が緩慢に低下する。

[0073] このため、本実施形態の半導体レーザ1の内部で光を導く光導波路内で光の集中

度を緩和する、すなわち、光閉じ込め係数を低くすることができ、内部損失が低下する。

[0074] また、本実施形態の半導体レーザ1では、InGaAsPからなるn型クラッド層3の屈折率naは、InPからなるp型クラッド層9の屈折率nbより高いので、図8に示すように、光の分布が、両クラッド層3, 9を同一屈折率にしたときの対称な特性曲線A'に対して、特性曲線Aのようにn型クラッド層3側に偏って分布する。

[0075] このため、本実施形態の半導体レーザ1では、活性層5と、第1及び第2のSCH層4, 6における光閉じ込め係数を低くしたことによるp型クラッド層9における価電子帯間光吸収による光損失の増加を抑制することができるので、高出力なレーザ光を得ることができる。

[0076] また、本実施形態の半導体レーザ1では、活性層5とn型クラッド層3との屈折率差が従来のものより小さくなるので、横高次モードを抑圧できる最大の活性層幅も拡大することができ、レーザの高出力化にさらに有利となる。

[0077] 具体的には、本実施形態の半導体レーザ1では、n型クラッド層の組成波長を0.96~0.98 μ mの範囲で設定することにより、横高次モードを抑圧できる最大の活性層幅を7~14 μ m程度に拡大することができる。

[0078] これにより、本実施形態の半導体レーザ1では、素子抵抗値の増加による光出力の低下も防止できるだけでなく、光スポットサイズを拡大することができるため、後述するように、例えば、レンズレスでも単一モード光ファイバへ結合することができる。

[0079] また、本実施形態の半導体レーザ1では、p型クラッド層9の厚さを増加させる必要がなく、素子抵抗値の増加による光出力の低下を招く懼れもない。

[0080] なお、ここでは、活性層5と第1及び第2のSCH層4, 6における光の閉じ込め係数を低減するための一つの方法として、第1及び第2のSCH層4, 6を構成する各層における隣接するもの同士の屈折率差が活性層5から遠くなる程小さくなるように設定し、各層の厚さを等しくしている。

[0081] これに限らず、他の実施形態の半導体レーザ1として、図9に示すように、第1及び第2のSCH層4, 6を構成する隣接する層相互間の屈折率差を等しくし、且つ各層の厚みを活性層5から遠いもの程大きくなるように、下記の2つの式で示すように設定し

てもよい。

[0082] $ns-n1=n1-n2=n2-n3= \dots, =nN-nb$
 (但し、 $nN-nb > nN-na$),
 $t1 < t2 < t3, \dots, < tN$

また、さらに他の実施形態の半導体レーザ1として、図10に示すように、第1及び第2のSCH層4, 6を構成する隣接する層相互間の屈折率差は、活性層5から遠くなる程小さくなり、しかも、各層の厚みを活性層5から遠いもの程大きくなるように、下記の2つの不等式で示すように設定してもよい。

[0083] $ns-n1 > n1-n2 > n2-n3 > \dots, > nN-nb > nN-na$,
 $t1 < t2 < t3, \dots, < tN$

上述した図9、図10に示すように、半導体レーザ1の各層の屈折率特性を設定した場合でも、第1及び第2のSCH層4, 6内における活性層5の近傍領域の屈折率の高い領域においては屈折率が急激に低下し、両クラッド層3, 9の近傍領域の屈折率が低い領域においては、屈折率が緩慢に低下する。

[0084] このため、これらの他の実施形態の半導体レーザ1の内部で光を導く光導波路内で光の集中度を緩和する、すなわち、光閉じ込め係数を低く設定することができるで、内部損失が低下する。

[0085] また、いずれの実施形態の半導体レーザ1の場合においても、InGaAsPからなるn型クラッド層3の屈折率naは、InPからなるp型クラッド層9の屈折率nbより高いので、光の分布が前記図8で示すように、n型クラッド層3側に偏る。

[0086] このため、いずれの実施形態の半導体レーザ1の場合においても、活性層5と第1及び第2のSCH層4, 6とにおける光閉じ込め係数を低くしたことによるp型クラッド層9における価電子帯間光吸収による光損失の増加を抑制することができ、高出力なレーザ光を得ることができる。

[0087] 次に、上述した図10に示す他の実施形態の半導体レーザ1の各部の屈折率、厚さについて具体的な数値例とその特性を示す。

[0088] この実施形態の半導体レーザ1では、共振器長Lは、図1に示した構成において、 $L=3\text{mm}$ に設定される。

[0089] また、この半導体レーザ1における端面1a、1bの、端面の一方がHR膜(高反射性)膜、他方がLR(低反射性)膜とされる。

[0090] また、この半導体レーザ1における活性層5の幅は、9. 0 μ mに設定される。

[0091] そして、この半導体レーザ1における上述したような各層4a, 4b, 4c及び6a, 6b, 6c, 3, 9の屈折率ns、n1、n2、n3、na、nbは、組成波長(bandgap wavelength)で表すものとして、以下のように設定される。

[0092] $ns = 1. 2 \mu m$
 $n1 = 1. 15 \mu m$
 $n2 = 1. 08 \mu m$
 $n3 = 0. 99 \mu m$
 $na = 0. 97 \mu m$
 $nb = 0. 925 \mu m$

なお、p型クラッド層9は組成が決まっているInPによって構成されているので、その組成波長nbは一義的に0. 925 μm となる。

[0093] また、この半導体レーザ1における上述したような各層4a, 4b, 4c及び6a, 6b, 6cの厚さt1、t2、t3は、以下のように設定される。

[0094] $t1 = 3. 0 nm$
 $t2 = 8. 0 nm$
 $t3 = 25 nm$

また、n型クラッド層3の厚さは約7. 5 μm としているが、4元素であるInGaAsPを格子間間隔を合わせて、このような大きな厚さに形成することは通常の製造技術では困難である。

[0095] 特に、n型クラッド層3の組成波長naが0. 97 μm の場合、GaとAsの割合がInやPに対して微量となるので、このような大きな厚さに形成することはさらに困難さが増す。

[0096] しかるに、本発明では、希釀原料の導入や各ガスの流量と成長速度の制御によって、約7. 5 μm の大きな厚さに形成された組成波長naが0. 97 μm のn型クラッド層3を実現することが可能となっている。

[0097] 以下、その製造工程の一例を説明する。

[0098] 先ず、不純物濃度 $1\sim2\times10^{18}/\text{cm}^3$ のn型InPの半導体基板2上に、有機金属気相成長(MOVPE)法を用いて、層厚が $7.5\mu\text{m}$ で不純物濃度が $1\sim2\times10^{18}/\text{cm}^3$ 、組成波長 $0.97\mu\text{m}$ のInGaAsPからなるn型クラッド層3を形成する。

[0099] 次に、組成波長が $0.99\mu\text{m}$ 、 $1.08\mu\text{m}$ 、 $1.15\mu\text{m}$ のノンドープInGaAsPをそれぞれ 25nm 、 8nm 、 3nm の厚さで積層して、SCH層4を形成する。

[0100] そして、第1のSCH層4の上に、InGaAsPの井戸層5aとInGaAsPの障壁層5bを交互に成長し、井戸層数4の多重量子井戸構造の活性層5を形成する。

[0101] 次に、活性層5の上に、組成波長が $1.15\mu\text{m}$ 、 $1.08\mu\text{m}$ 、 $0.99\mu\text{m}$ のノンドープInGaAsPをそれぞれ 3nm 、 8nm 、 25nm の厚さで積層して、第2のSCH層6を形成する。

[0102] そして、第2のSCH層6の上に、不純物濃度が $5\sim7\times10^{17}/\text{cm}^3$ で厚さ $0.5\mu\text{m}$ のInPからなるp型クラッド層9の下層部を成長する。

[0103] その後、プラズマCVD法等により全面に SiN_x 膜を数 10nm 程度堆積し、これをフォトリソグラフィ工程で幅 $10\mu\text{m}$ 程度のストライプ状に形成したものをエッチングマスクとして、塩酸、過酸化水素水、水の混合液からなるエッチング溶液に浸し、メサ形状を形成する。これにより活性層5部分の幅はおよそ $9\mu\text{m}$ となる。

[0104] 続いて、前記 SiN_x 膜を成長阻害マスクを利用して、MOVPE法により、p型InPの下部埋込層7、n型InPの上部埋込層8を積層して、メサ両側部を埋め込んだ後、 SiN_x 膜を除去する。

[0105] その後全面に不純物濃度 $5\sim7\times10^{17}/\text{cm}^3$ のInPからなるp型クラッド層9の上層部を $2.5\mu\text{m}$ 成長し、さらに、不純物濃度 $5\times10^{18}/\text{cm}^3$ 程度のInGaAsPのp型コンタクト層10を $0.3\mu\text{m}$ 成長する。

[0106] そして、p型コンタクト層10の上面にp電極11を形成し、半導体基板2の下側にn電極12を形成した後、長さ 3mm で切り出し、前端面にLR膜21、後端面にHR膜22を施し、レーザ構造とする。

[0107] 図11は、上記のように構成された半導体レーザ1の電流対出力の特性を示す。

[0108] 図11において、特性曲線Fは上記数値例による半導体レーザの特性を示し、特性

曲線F'は単一モード光ファイバと、例えば、レンズレスで光結合させたときのファイバ出力特性を示す。

- [0109] 本例の半導体レーザによれば、単一モード光ファイバとの結合効率が80%となる良好な特性が得られている。
- [0110] また、この半導体レーザのp型クラッド層9内における光閉じ込め係数は17%であり、従来構造の閉じ込め係数42%に対して大幅に低減していることが確認されている。
- [0111] また、実際に作成した半導体レーザから見積もった内部損失の値も、従来構造のものが $5\text{--}6\text{cm}^{-1}$ であるのに対し、この半導体レーザでは、 3.0cm^{-1} 以下まで改善されている。
- [0112] また、上述した半導体レーザは埋め込み構造のものであるが、図12に示すリッジ構造の半導体レーザについても本発明は同様に適用できる。
- [0113] なお、図12において、p型クラッド層9及びp型コンタクト層10の上には SiO_2 からなる絶縁層23が形成される。
- [0114] このようなリッジ構造の半導体レーザの場合でも、InPからなるp型クラッド層9に対して、それより屈折率が大きいInGaAsPからなるn型クラッド層3を用いているので、前記と同様に、光の分布をn型クラッド層3側に偏らせることができ、上記と同様に高出力のレーザ光が得られる。
- [0115] また、前述した半導体レーザでは、n型の半導体基板2上に各層を形成した例を示したが、図13に示すように、p型の半導体基板2'上に各層を形成した半導体レーザにおいても、そのn型クラッド層3を、InPからなるp型クラッド層9より屈折率が高いInGaAsPによって構成することで、上記と同様の効果を得ることができる。
- [0116] なお、前述した各半導体レーザでは、第1のSCH層4の最も外側の層4cの組成波長を、InGaAsPからなるn型クラッド層3の組成波長より長くしていたが、図14に示すように、第1のSCH層4の最も外側の層4c(4N)の組成波長をInGaAsPからなるn型クラッド層3の組成波長より短くしてもよい。
- [0117] すなわち、この図14に示す他の実施形態による半導体レーザ1では、図14に示すように、第1のSCH層4の最も外側の層4Nの屈折率nNがInGaAsPからなるn型クラ

ンド層32の屈折率naよりも低く設定されている($na > nN$)。

[0118] このように各層が形成された半導体レーザ1においても、そのn型クラッド層3を、In Pからなるp型クラッド層9より屈折率が高いInGaAsPによって構成することにより、前述した各実施形態による半導体レーザ1と同様の効果を得ることができる。

[0119] また、この図14に示す他の実施形態による半導体レーザ1では、第1のSCH層4の最も外側の層4Nの屈折率nNがInGaAsPからなるn型クラッド層3の屈折率naよりも低く設定されていることにより、注入されるキャリア(ホール)が溢れ出るのを防止できるという効果が得られる。

[0120] なお、この図14に示す他の実施形態による半導体レーザ1では、図14に示したように、前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層5を構成する複数の層のうちで最も低い屈折率を有する層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層3の屈折率naが前記p型クラッド層9の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$ns > n1 > n2 > n3 > \dots > nN > nb$$

且つ

$$na > nN$$

なる関係に設定されている。

[0121] これに加えて、この図14に示す他の実施形態による半導体レーザ1では、前述したように、第1のSCH層4の最も外側の層4Nの屈折率nNがInGaAsPからなるn型クラッド層3の屈折率naよりも低く設定されている($na > nN$)以外に、第1のSCH層4、第2のSCH層6を構成する複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が、活性層5から両クラッド層3、9へ向かう程小さくなるように

$$ns - n1 > n1 - n2 > n2 - n3 > \dots > n(N-1) - nN$$

なる関係に設定されている。

[0122] また、各層の厚さが互いに等しくなるように

$$t1 = t2 = t3 = \dots = tN$$

なる関係に設定されている。

[0123] これは、前述した図3に示す第1の実施形態による半導体レーザ1の屈折率特性(n

$s-n_1 > n_1-n_2 > n_2-n_3 >, \dots, > n_N-n_b > n_N-n_a$ を一部変形するものとして適用されている。

[0124] しかるに、この図14に示す他の実施形態による半導体レーザ1における第1のSCH層4の最も外側の層4Nの屈折率nNがInGaAsPからなるn型クラッド層3の屈折率naよりも低く設定されているという構成は、第1のSCH層4及び第2のSCH層6を構成する複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が互いに等しくなるよう $(n_s-n_1=n_1-n_2=n_2-n_3=\dots, =n_N-n_b, \text{但し}, n_N-n_b > n_N-n_a)$ 設定されていると共に、各層の厚さが活性層5から遠い程大きくなるように $(t_1 < t_2 < t_3, \dots, t_N)$ 設定されている前述した図9に示す他の実施形態による半導体レーザ1の屈折率特性を一部変形する $(n_s-n_1=n_1-n_2=n_2-n_3=\dots, =n_N-n_b)$ ものとしても適用することができる。

[0125] また、この図14に示す他の実施形態による半導体レーザ1における第1のSCH層4の最も外側の層4Nの屈折率nNがInGaAsPからなるn型クラッド層3の屈折率naよりも低く設定されているという構成は、第1のSCH層4及び第2のSCH層6を構成する複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が活性層5から遠くなる程小さくなるように $(n_s-n_1 > n_1-n_2 > n_2-n_3 >, \dots, > n_N-n_b > n_N-n_a)$ 設定されていると共に、各層の厚さが活性層5から遠い程大きくなるように $(t_1 < t_2 < t_3 <, \dots, < t_N)$ 設定されている前述した図10に示す他の実施形態による半導体レーザ1の屈折率特性を一部変形する $(n_s-n_1 > n_1-n_2 > n_2-n_3 >, \dots, > n_{(N-1)}-n_N)$ ものとしても適用することができる。

[0126] また、前述した半導体レーザ1では、n型クラッド層3を構成するInGaAsPの組成波長が0.97 μ mの場合を例にとって説明したが、本発明の半導体レーザ1では、InGaAsPの組成波長を0.96～0.98 μ mの範囲で選択し、かつ活性層5の幅を7～14 μ mに設定することができる。

[0127] なお、本発明の半導体レーザ1において、InGaAsPの組成波長を0.96～0.98 μ mの範囲で選択すれば、单一モード光ファイバと光結合する際に、基本横モードを保ったまま高出力のレーザ光を单一モード光ファイバに入射することができる。

[0128] 図15は本発明の半導体レーザ1を外部の单一モード光ファイバ31と光結合する場

合の概略図である。

- [0129] 図15において、単一モード光ファイバ31は、光入射面31aにAR(無反射性)膜32が形成されている。
- [0130] 本発明の半導体レーザ1を外部の単一モード光ファイバ31と光結合する一例としては、図15に実線で示すように、半導体レーザ1の一方の端面(図15ではLR面21)から出射されるレーザ光の中心軸と、単一モード光ファイバ31の光入射面31aのコア31bの中心軸とをできる限り一致させ、且つ、LR面21を備えた前記半導体レーザ1の一方の端面とAR膜32を備えた前記単一モード光ファイバ31の光入射面31aとを近接して配置(レンズレス結合)する。
- [0131] また、本発明の半導体レーザ1を外部の単一モード光ファイバ31と光結合する他の例としては、図15に破線で示すように、半導体レーザ1の一方の端面(図15ではLR面21)から出射されるレーザ光の中心軸と、単一モード光ファイバ31の光入射面31aのコア31bの中心軸とをできる限り一致させ、且つ、LR面21を備えた前記半導体レーザ1の一方の端面とAR膜32を備えた前記単一モード光ファイバ31の光入射面31aとを突き合わせて配置(バットジョイント結合)する。
- [0132] これにより、半導体レーザ1の活性層5からLR面21より出射された光は、単一モード光ファイバ31の光入射面31aのコア31bに入射される。
- [0133] そして、この構成によれば、基本横モードを保ったまま活性層幅を広くして半導体レーザ1と単一モード光ファイバ31を高効率な結合効率で光結合することができる。
- [0134] また、前述した各半導体レーザ1では、活性層5の両側に第1及び第2のSCH層4, 6が設けられているが、図16に示すように、第1及び第2のSCH層4, 6を設けず、活性層5の両側に両クラッド層3, 9が隣接している半導体レーザや、外部共振器型半導体レーザ、発光ダイオード(LED)等の他の半導体発光素子についても本発明を同様に適用できる。
- [0135] このように、本発明の半導体レーザ1によれば、n型クラッド層3に4元材料(In, Ga, As, P)を用い、n型クラッド層3の組成波長を0.96~0.98 μ mにし、かつ活性層5の幅を7~14 μ mに設定している。
- [0136] これにより、本発明の半導体レーザ1によれば、発振基本横モードを維持しながら

活性層幅も広くなり、ファイバのモードフィールド径に近くなるため、例えば、レンズレスでも単一モード光ファイバと十分な結合効率が得られ、レーザモジュールの低コスト化が可能になる。

- [0137] しかも、本発明の半導体レーザ1では、特許文献1等に開示される従来のようなレーザ光のスポットサイズを単一モード光ファイバのコア径に合わせて変換するテーパ光導波路が不要となるので、素子長を短くでき、素子のコストを低減することができる。
- [0138] 従って、以上詳述したように、本発明によれば、単一モード光ファイバと光結合する際、従来技術のようなレンズやその他のスポットサイズ変換部を必要とせず、基本横モードを保ったまま高出力のレーザ光を低成本で単一モード光ファイバに高い結合効率で結合可能とする半導体レーザを提供することができる。

請求の範囲

[1] InPからなる基板と、
 前記基板上に幅が7ー14μmとして形成される、多重量子井戸構造を含む活性層と、前記活性層を挟んで前記基板上に形成される、InGaAsPからなるn型クラッド層及びInPからなるp型クラッド層とを具備し、
 基本横モードのみで発振して出射端部から出射される光が外部の单一モード光ファイバと光結合可能とすることを特徴とする半導体レーザ。

[2] 前記出射端部から出射される光が、前記外部の单一モード光ファイバとレンズレスで光結合可能とされることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ。

[3] 前記出射端部から出射される光が、前記外部の单一モード光ファイバとバットジョイントにより光結合可能とされることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ。

[4] 前記活性層と前記n型クラッド層との間に形成されるInGaAsPからなる第1のSCH (Separate Confinement Heterostructure:光閉込構造)層と、
 前記活性層と前記p型クラッド層との間に形成されるInGaAsPからなる第2のSCH層とをさらに具備することを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ。

[5] 前記第1のSCH層は、複数の層からなる多層構造を含み、
 前記第2のSCH層は、複数の層からなる多層構造を含むことを特徴とする請求項4に記載の半導体レーザ。

[6] 前記活性層における前記複数の障壁層の屈折率をnsとし、
 前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとし、
 前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとしたとき、前記各層の厚さの関係は互いに等しい、

$$t1=t2=t3=, \dots, =tN$$
 なる関係に設定され、
 前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率naが前記p型クラッド層の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活

性層から遠ざかる程小さくなるように

$ns > n1 > n2 > n3 > \dots > nN > na > nb$

なる関係に設定されていると共に、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が、前記活性層から前記n型クラッド層及び前記p型クラッド層へ向かう程小さくなるように

$ns - n1 > n1 - n2 > n2 - n3 > \dots > nN - nb > nN - na$

なる関係に設定されていることを特徴とする請求項5に記載の半導体レーザ。

[7]

前記活性層における前記複数の障壁層の屈折率をnsとし、

前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, ..., nN及びt1, t2, t3, ..., tNとし、

前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, ..., nN及びt1, t2, t3, ..., tNとしたとき、前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率naが前記p型クラッド層の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$ns > n1 > n2 > n3 > \dots > nN > na > nb$

なる関係に設定され、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が互いに等しい

$ns - n1 = n1 - n2 = n2 - n3 = \dots = nN - nb$

(但し、 $nN - nb > nN - na$)

なる関係に設定されていると共に、

前記各層の厚さの関係は、前記活性層から遠いものほど大きくなるように

$t1 < t2 < t3 < \dots < tN$

なる関係に設定されていることを特徴とする請求項5に記載の半導体レーザ。

[8]

前記活性層における前記複数の障壁層の屈折率をnsとし、

前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い

方から順次にそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとし、

前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1、n2、n3、…, nN及びt1, t2, t3, …, tNとしたとき、前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率naが前記p型クラッド層の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$ns > n1 > n2 > n3 > \dots, nN > na > nb$$

なる関係に設定され、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$ns - n1 > n1 - n2 > n2 - n3 > \dots, > nN - nb > nN - na$$

なる関係に設定されていると共に、

前記各層の厚さの関係は、前記活性層から遠いものほど大きくなるように

$$t1 < t2 < t3 < \dots, < tN$$

なる関係に設定されていることを特徴とする請求項5に記載の半導体レーザ。

[9] 前記活性層を形成する複数の層うちで最も低い屈折率を有する層の屈折率をnsとし、前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとし、

前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, …, nN及びt1, t2, t3, …, tNとしたとき、前記各層の厚さの関係は互いに等しい、

$$t1 = t2 = t3 = \dots, = tN$$

なる関係に設定され、

前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率naが前記p型クラッド層の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$ns > n1 > n2 > n3 > \dots, > nN > nb$$

且つ

$$na > nN$$

なる関係に設定されていると共に、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が、前記活性層から前記n型クラッド層及び前記p型クラッド層へ向かう程小さくなるように

$$ns - n1 > n1 - n2 > n2 - n3 > , \dots , > n(N-1) - nN$$

なる関係に設定されていることを特徴とする請求項5に記載の半導体レーザ。

[10] 前記活性層を形成する複数の層うちで最も低い屈折率を有する層の屈折率をnsとし、前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, ..., nN及びt1, t2, t3, ..., tNとし、

前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn1, n2, n3, ..., nN及びt1, t2, t3, ..., tNとしたとき、前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率nsが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率naが前記p型クラッド層の屈折率nbより高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$ns > n1 > n2 > n3 > , \dots , > nN > nb$$

且つ

$$na > nN$$

なる関係に設定され、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が互いに等しい

$$ns - n1 = n1 - n2 = n2 - n3 = , \dots , = nN - nb$$

なる関係に設定されていると共に、

前記各層の厚さの関係は、前記活性層から遠いものほど大きくなるように

$$t1 < t2 < t3 < , \dots , < tN$$

なる関係に設定されていることを特徴とする請求項5に記載の半導体レーザ。

[11] 前記活性層を形成する複数の層うちで最も低い屈折率を有する層の屈折率をnsと

し、前記第1のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn₁, n₂, n₃, …, n_N及びt₁, t₂, t₃, …, t_Nとし、

前記第2のSCH層における前記複数の層の屈折率及び厚さを前記活性層に近い方から順次にそれぞれn₁、n₂、n₃、…、n_N及びt₁、t₂、t₃、…、t_Nとしたとき、前記各層の屈折率の大小関係は、前記活性層の屈折率n_sが最も高く、前記n型クラッド層の屈折率n_aが前記p型クラッド層の屈折率n_bより高い関係を含めて、前記活性層から遠ざかる程小さくなるように

$$n_s > n_1 > n_2 > n_3 > \dots, n_N > n_b$$

且つ

$$n_a > n_N$$

なる関係に設定され、

前記第1のSCH層及び第2のSCH層を構成するそれぞれの前記複数の層における互いに隣接する層相互間の屈折率差が前記活性層から遠ざかる程小さくなるよう

に

$$n_s - n_1 > n_1 - n_2 > n_2 - n_3 > \dots, > n(N-1) - n_N$$

なる関係に設定されていると共に、

前記各層の厚さの関係は、前記活性層から遠いものほど大きくなるように

$$t_1 < t_2 < t_3 < \dots, < t_N$$

なる関係に設定されていることを特徴とする請求項5に記載の半導体レーザ。

[12] 前記半導体レーザは埋込み構造として形成されていることを特徴とする請求項4に記載の半導体レーザ。

[13] 前記n型クラッド層、前記第1のSCH層、前記活性層、前記第2のSCH層及び前記p型クラッド層の一部はメサ型に形成され、

前記半導体レーザは、

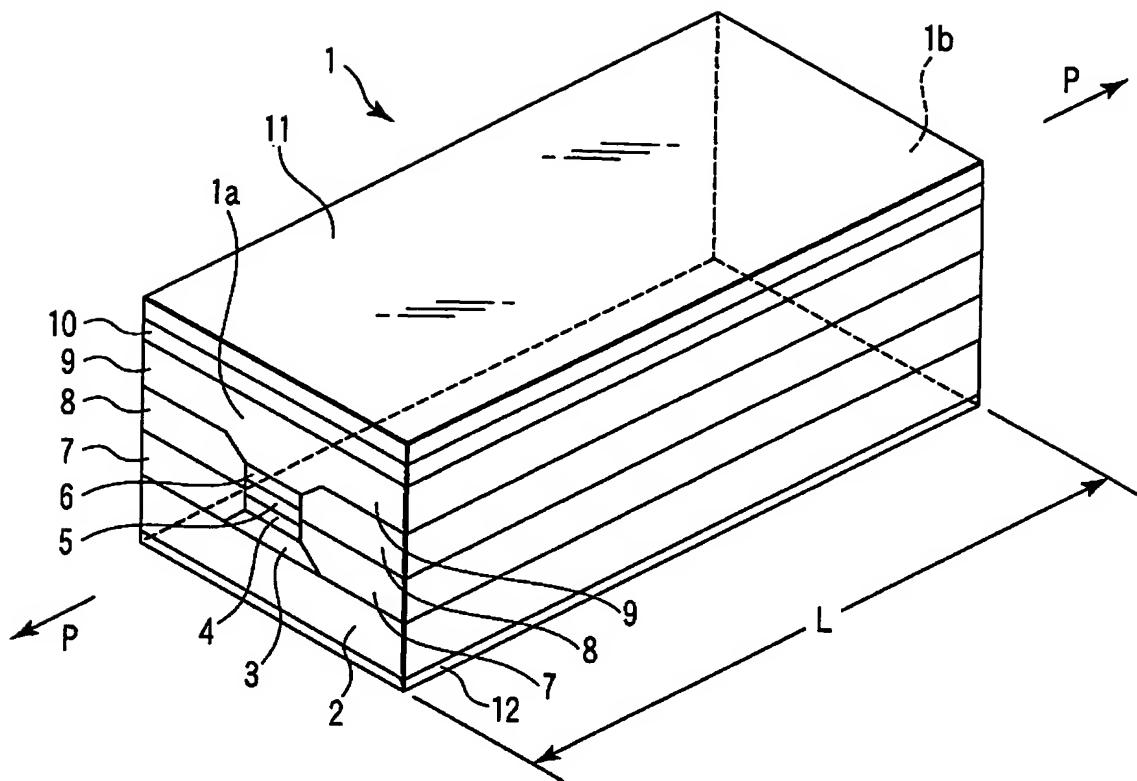
前記メサ型に形成された各層の両側で前記半導体基板または前記n型クラッド層に一面が接して形成されたp型InPからなる第1の埋込層と

前記メサ型に形成された各層の両側で一面が前記p型クラッド層に接し且つ他面が前記第1の埋込層の他面に接して形成されたn型InPからなる第2の埋込層とをさら

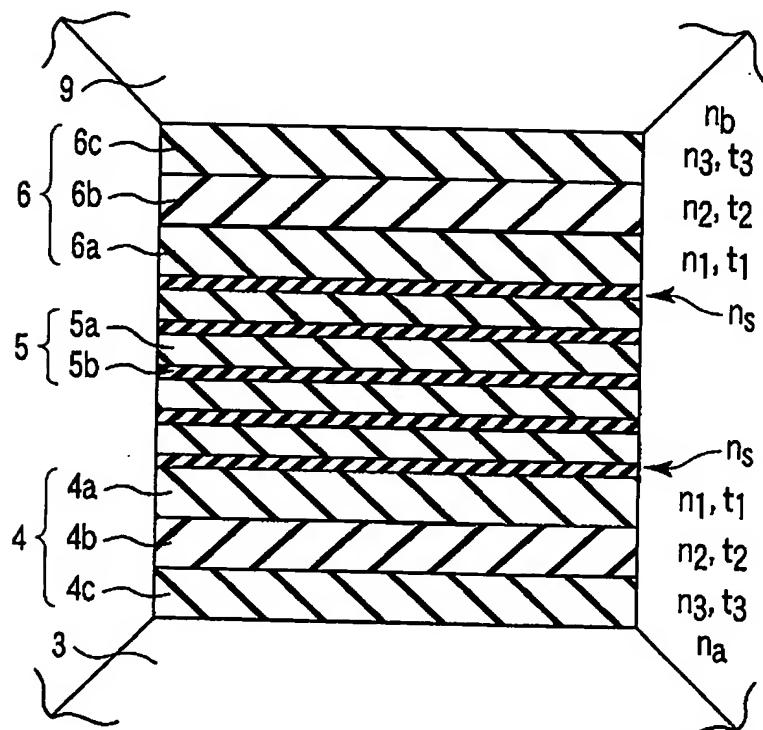
に具備することを特徴とする請求項12に記載の半導体レーザ。

- [14] 前記半導体レーザはリッジ構造として形成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ。
- [15] 前記半導体基板がn型であるとき、前記p型クラッド層は外側のほぼ中央部が上側に盛り上げられたリッジ構造部分として形成され、
前記半導体レーザは、
前記p型クラッド層における前記リッジ構造部分の上側に形成されたコンタクト層と、
前記コンタクト層の中央部を開口して、前記リッジ構造部分を含む前記p型クラッド層を覆うように形成された絶縁層と、
一部が前記コンタクト層と接続された状態で前記絶縁層の上部に形成された電極とをさらに具備することを特徴とする請求項14に記載の半導体レーザ。
- [16] 前記n型クラッド層を構成するInGaAsPの組成波長が、InPの組成波長以上で且つ0.98 μ m以下であることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ。
- [17] 前記n型クラッド層を構成するInGaAsPの組成波長が、0.96 μ m以上で且つ0.98 μ m以下であることを特徴とする請求項16に記載の半導体レーザ。
- [18] 前記半導体基板がn型であるとき、前記n型クラッド層が前記活性層の下方に形成され、前記p型クラッド層が前記活性層の上方に形成されることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ。
- [19] 前記半導体基板がp型であるとき、前記n型クラッド層が前記活性層の上方に形成され、前記p型クラッド層が前記活性層の下方に形成されることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ。

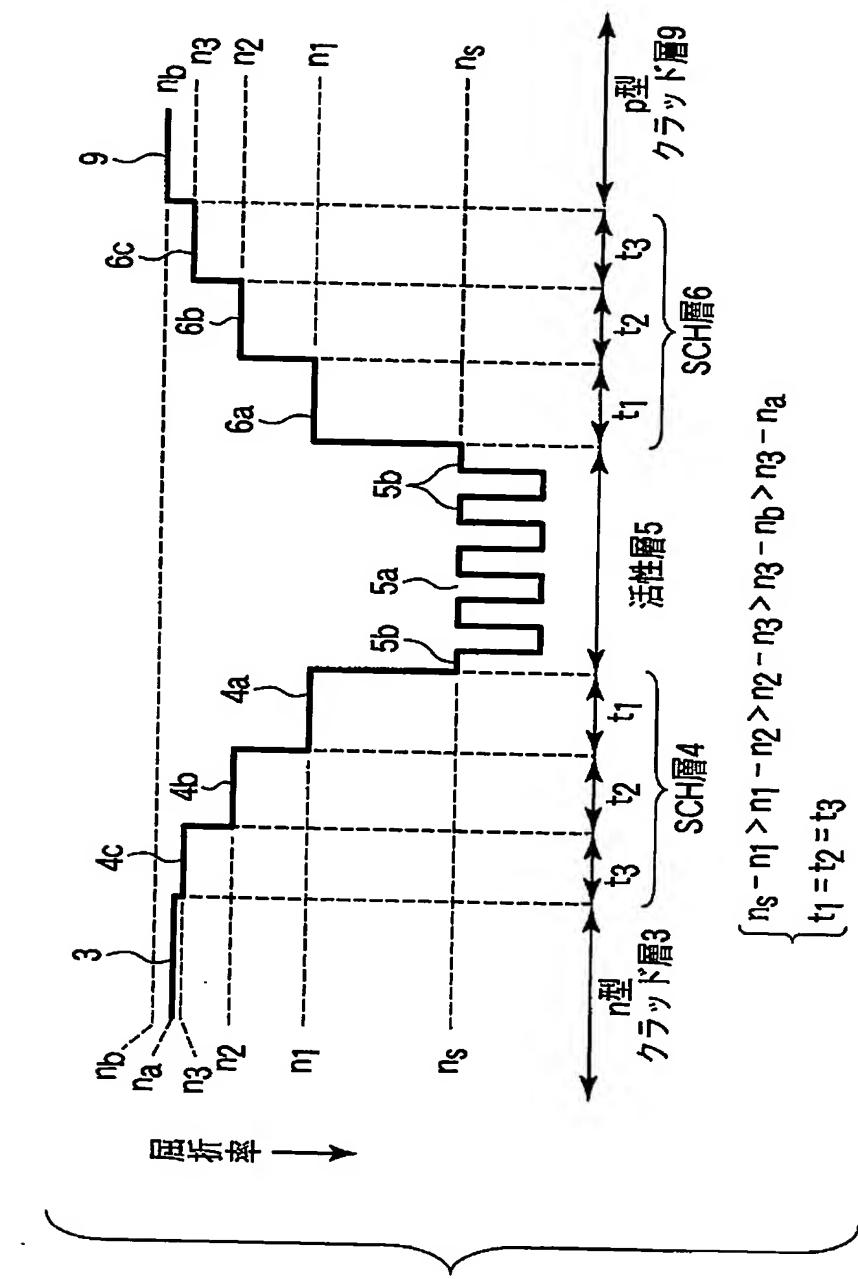
[図1]



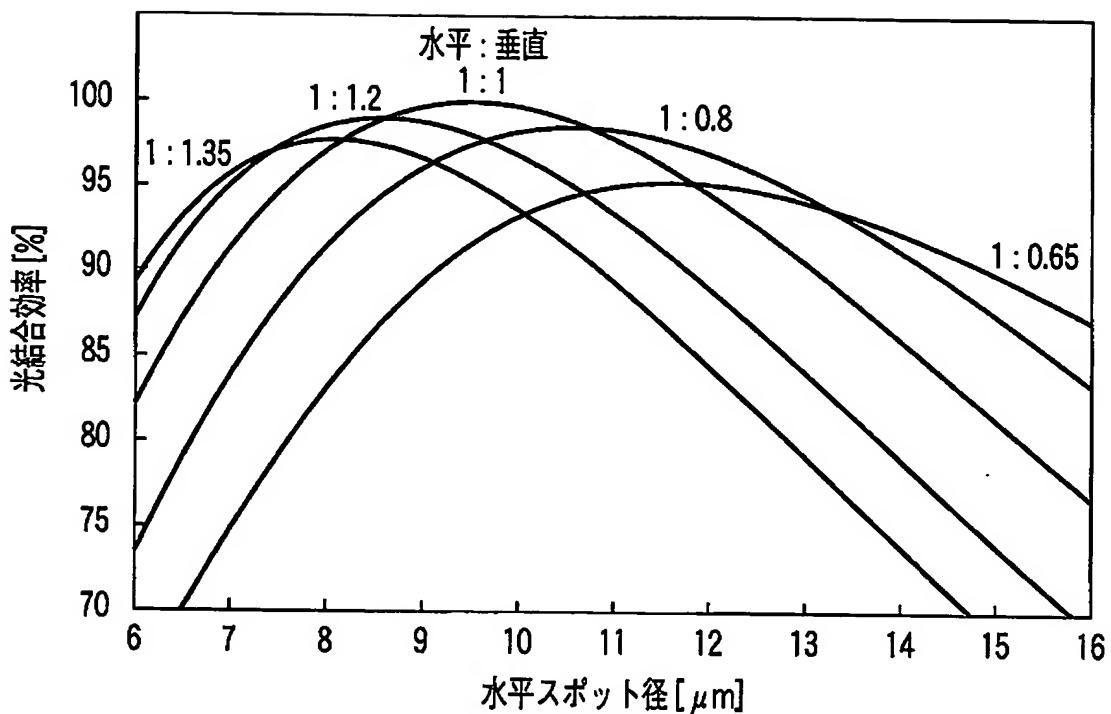
[図2]



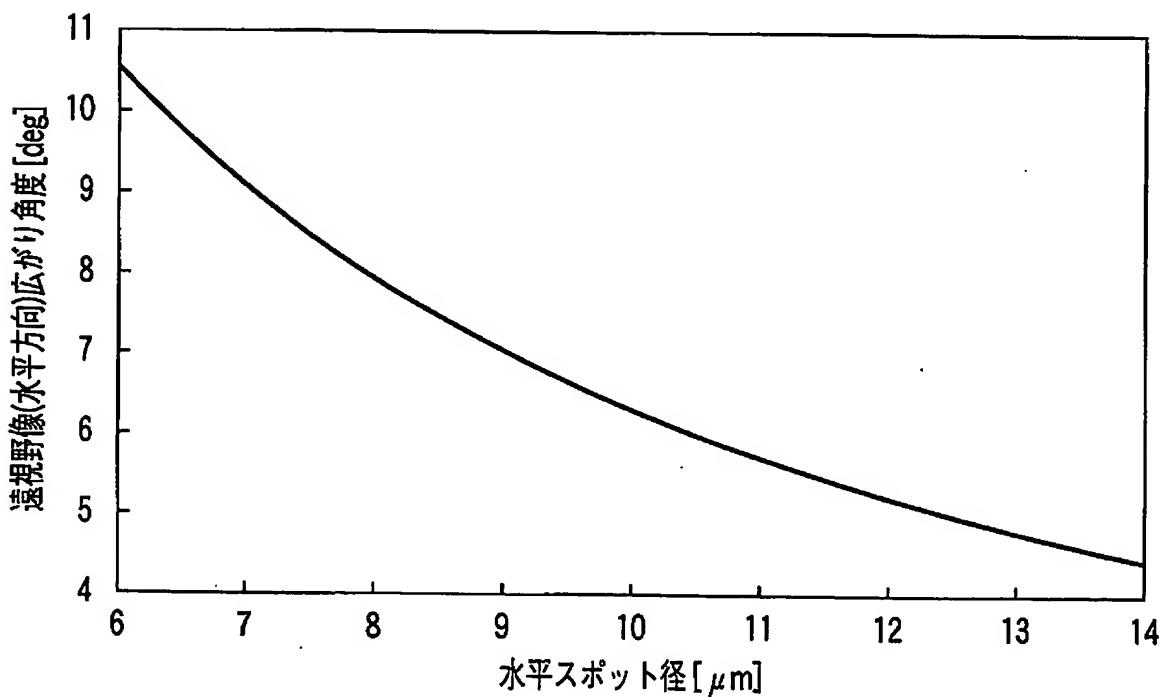
[図3]



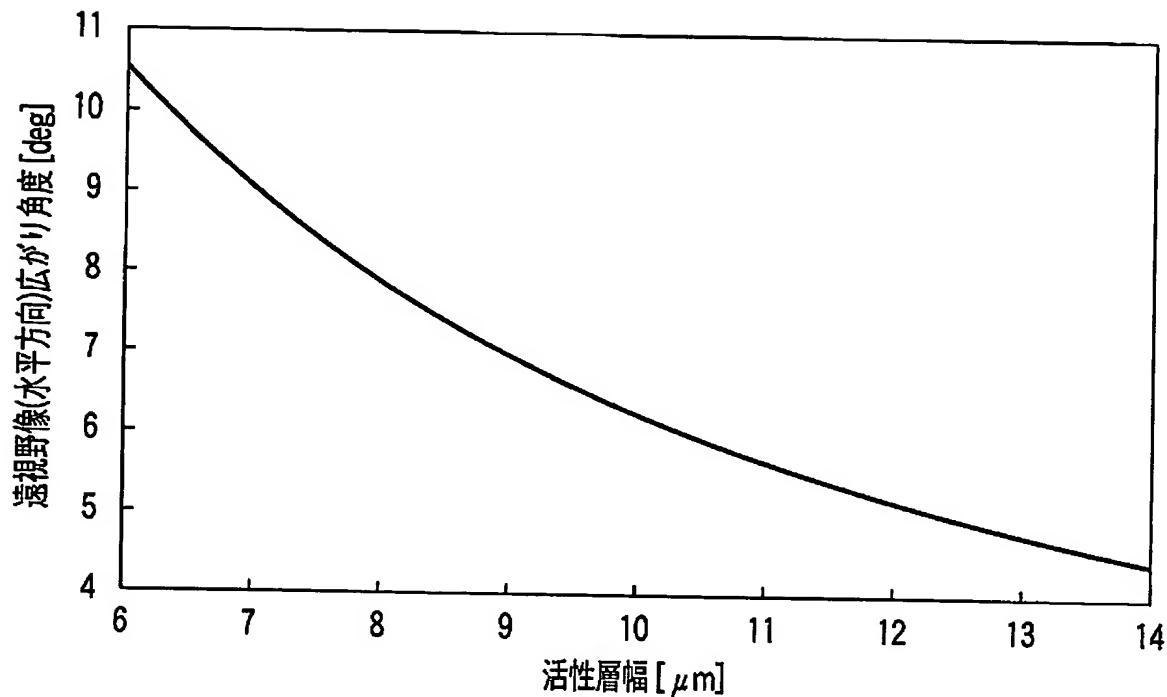
[図4]



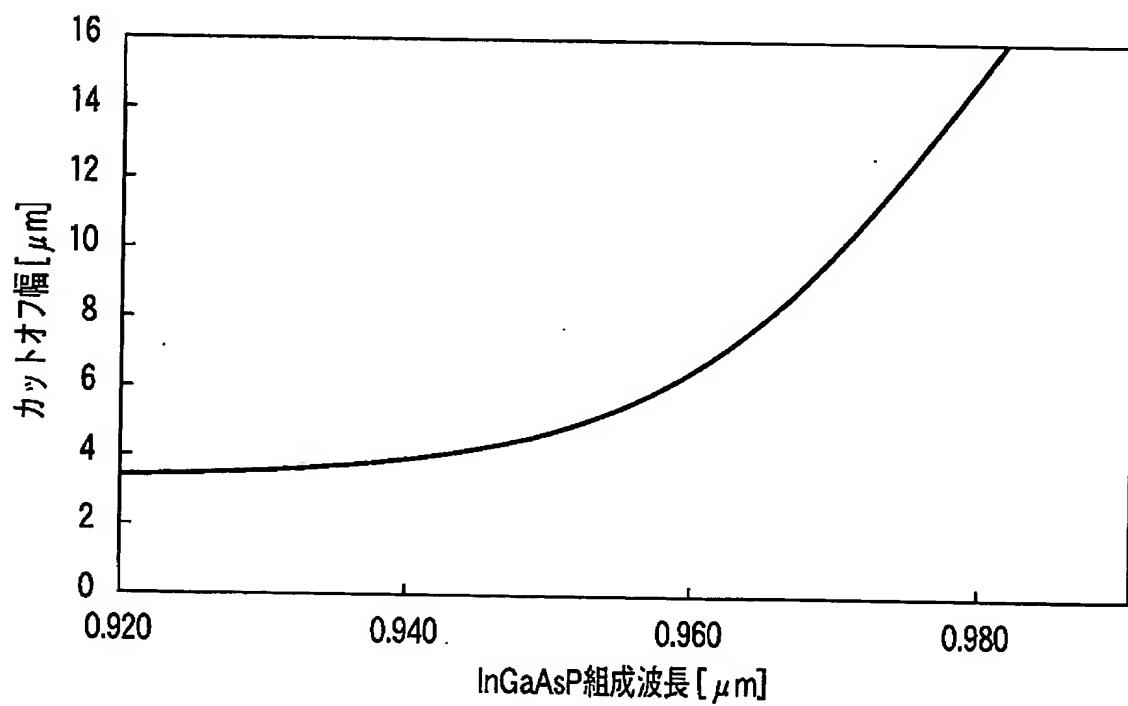
[図5]



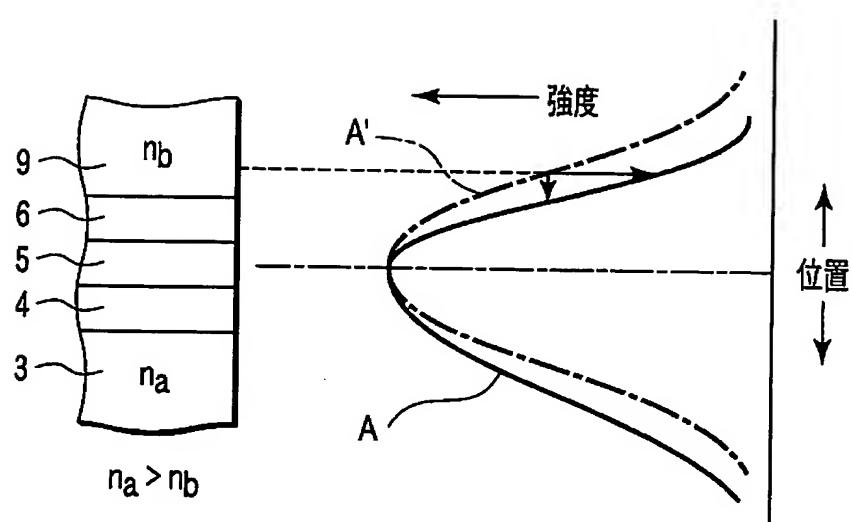
[図6]



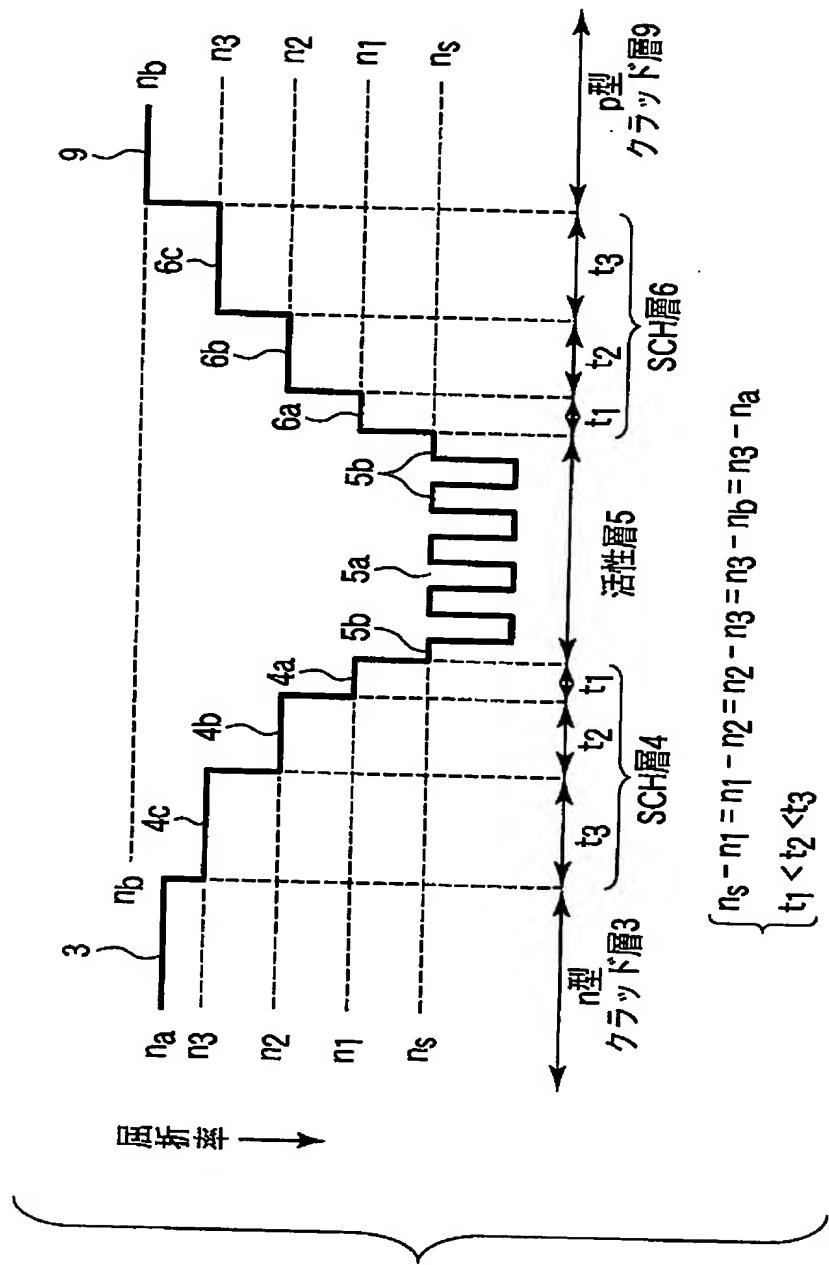
[図7]



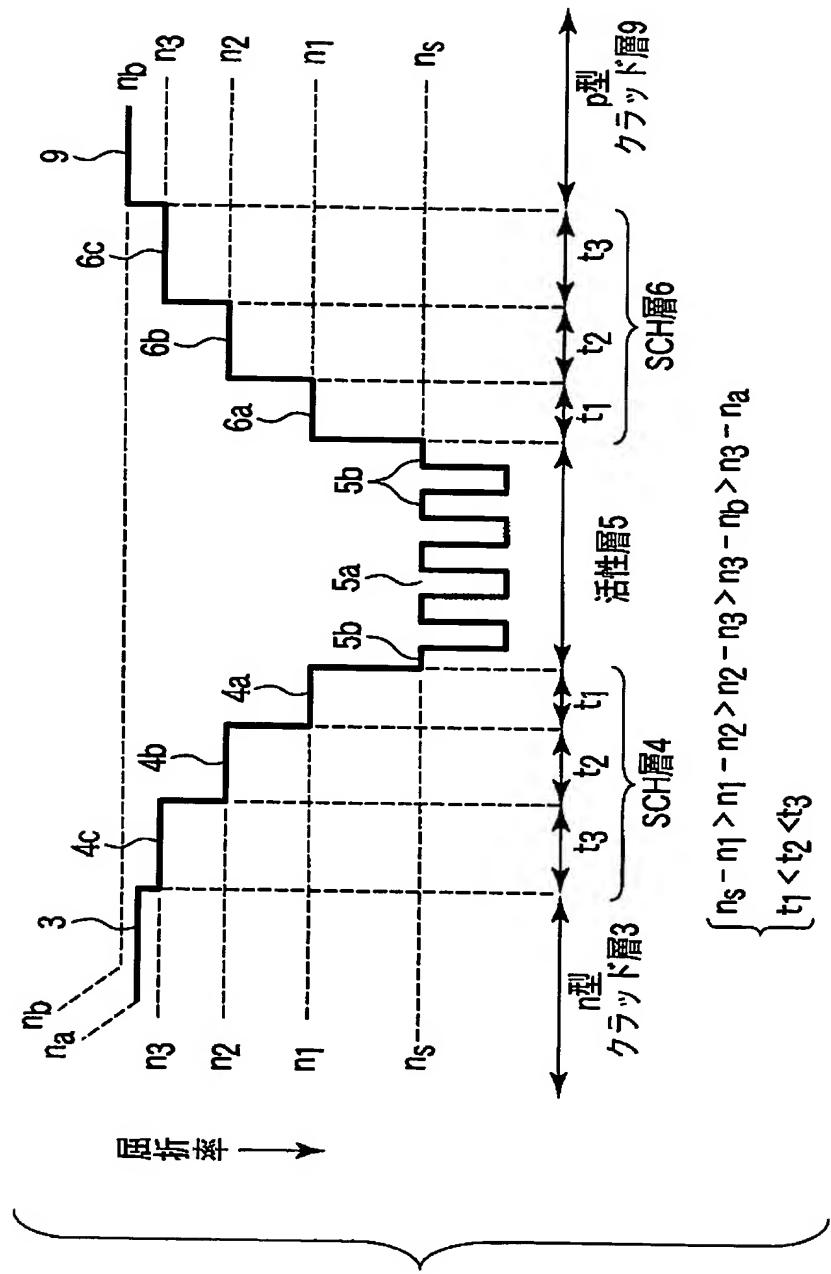
[図8]



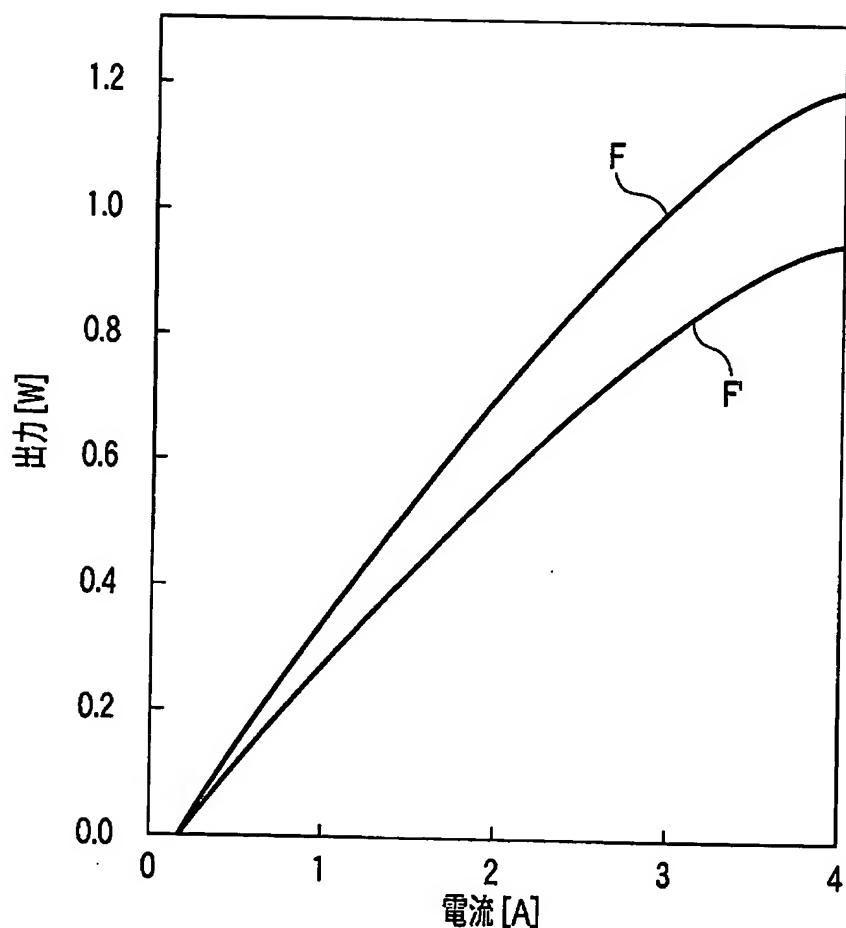
[図9]



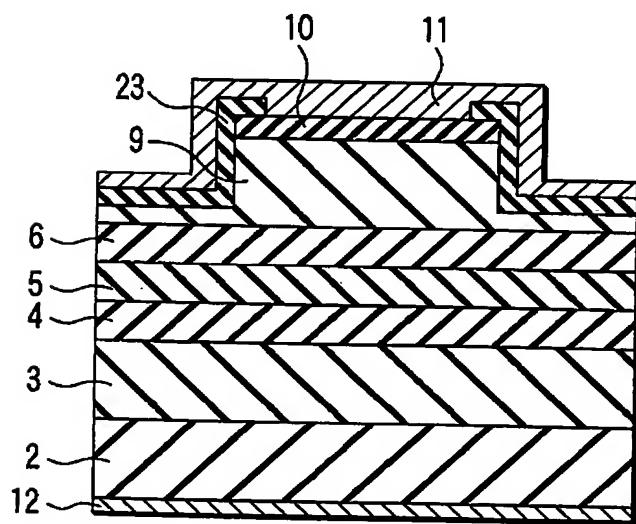
[図10]



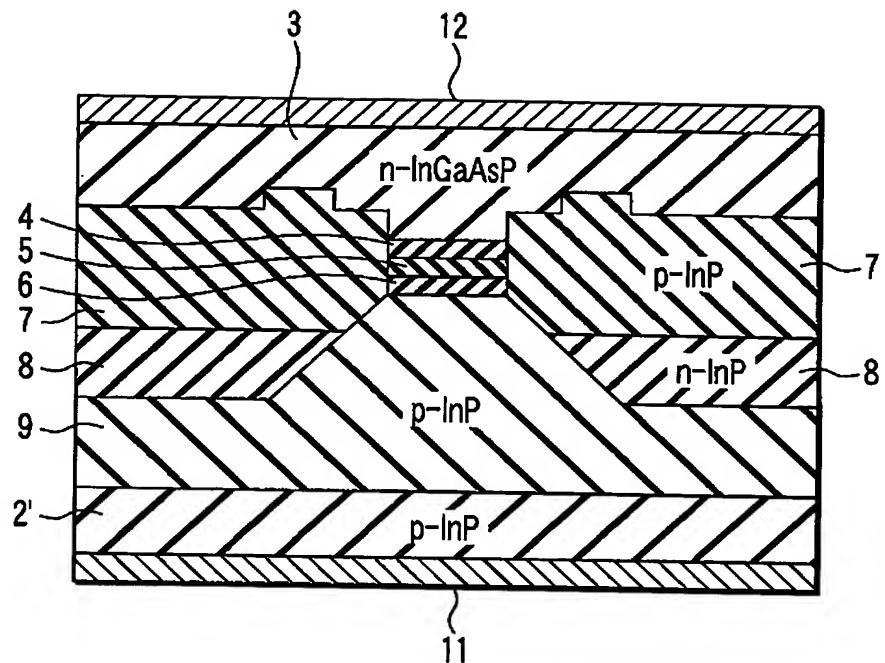
[図11]



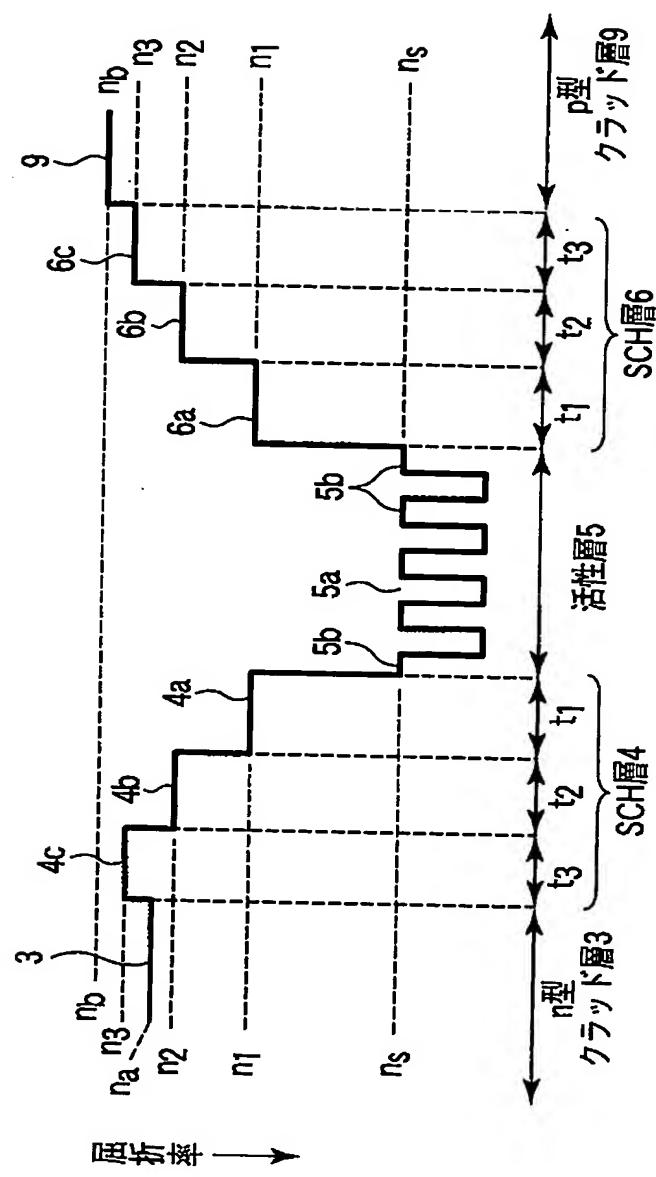
[図12]



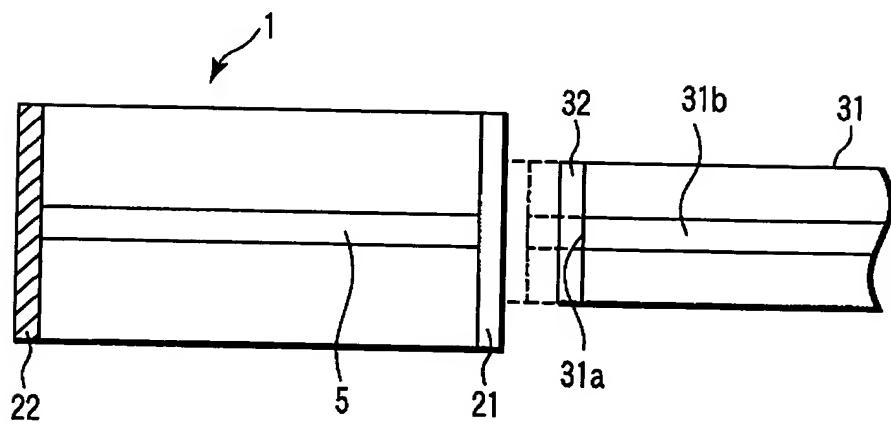
[図13]



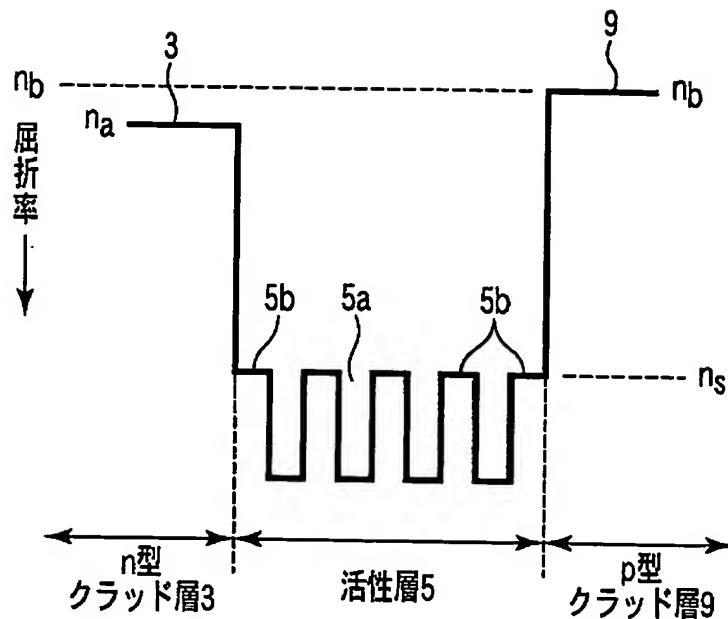
[図14]



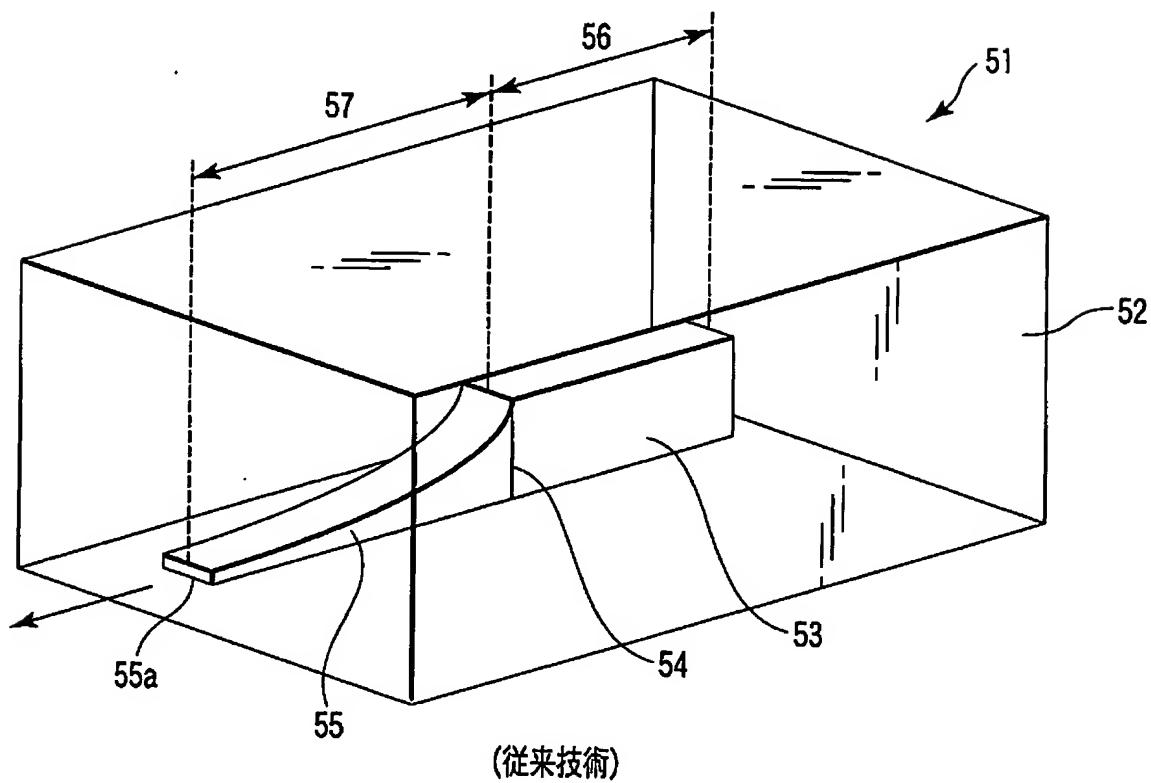
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004556

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl⁷ H01S5/227, 5/343

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl⁷ H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	OSA Trends in Optics and Photonics Series, Vol. 92, pages 147 to 151, 2003	1-19
Y	2002 IEEE/LEOS Annual Meeting, Post-Deadline Papers, P.D 1.4, 2002	1-19
Y	JP 9-289354 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 04 November, 1997 (04.11.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-19
Y	JP 8-234062 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 13 September, 1996 (13.09.96), Full text; all drawings (Family: none)	1-19

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 April, 2005 (06.04.05)Date of mailing of the international search report
26 April, 2005 (26.04.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004556

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	JP 2004-153212 A (Anritsu Corp.), 27 May, 2004 (27.05.04), Full text; all drawings & EP 141698 A2 & US 2004/089866 A1	1-19
A	JP 11-243259 A (Denso Corp.), 07 September, 1999 (07.09.99), Full text; all drawings & US 6333945 B1	1-19
A	JP 2001-210910 A (Mitsubishi Electric Corp.), 03 August, 2001 (03.08.01), Full text; all drawings & US 6606334 B1	1-19
A	JP 2002-368341 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 20 December, 2002 (20.12.02), Full text; all drawings & CA 2357974 A1 & EP 1193815 A2 & US 2002/041613 A1	1-19

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int.Cl.⁷ H01S5/227, 5/343

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int.Cl.⁷ H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	OSA Trends in Optics and Photonics Series, Vol. 92, p. 147-151, 2003	1-19
Y	2002 IEEE/LEOS Annual Meeting, Post-Deadline Papers, P.D 1.4, 2002	1-19
Y	JP 9-289354 A (松下電器産業株式会社) 1997.11.04, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-19

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.04.2005

国際調査報告の発送日

26.4.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

道祖土 新吾

2K 3498

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き)	関連すると認められる文献	関連する請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
Y	JP 8-234062 A (日本電信電話株式会社) 1996.09.13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-19
P, X	JP 2004-153212 A (アンリツ株式会社) 2004.05.27, 全文, 全図 & EP 1416598 A2 & US 2004/089866 A1	1-19
A	JP 11-243259 A (株式会社デンソー) 1999.09.07, 全文, 全図 & US 6333945 B1	1-19
A	JP 2001-210910 A (三菱電機株式会社) 2001.08.03, 全文, 全図 & US 6606334 B1	1-19
A	JP 2002-368341 A (古河電気工業株式会社) 2002.12.20, 全文, 全図 & CA 2357974 A1 & EP 1193815 A2 & US 2002/041613 A1	1-19